Münster 1936 No 27 Med DISS

Aus dem Pharmakologischen Institut
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster / Westf.

Über den Einfluß von Kadmium-, Zink- und Aluminiumsalzen auf die Sauerstoffzehrung überlebender Gewebe

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde der Hohen Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster / Westf.

Vorgelegt von
Harry Mennig
Zahnarzt
aus Zwickau / Sachsen

1936

Gedruckt in der Buchdruckerei Franz Grube, Werne a. d. Lippe

Dekan: Professor Dr. med. K. W. Jötten

Referent: Privatdozent Dr. med. et phil. W. Haarmann

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Westf.)

Während früher dem Zink und Aluminium im tierischen Organismus keine physiologische Bedeutung zugemessen wurde[1]), ist durch Untersuchungen von Eichholtz, Bertrand, Vladesco, Johns, Finks, Alsberg, von May, Spiro, Wiechowski[2]) und anderer nachgewiesen, daß ihnen eine solche Bedeutung z. T. doch zukommt, wenn auch über die Art und Weise ihrer Wirkung und über die Frage ihrer Lebensnotwendigkeit noch keineswegs genügend Klarheit herrscht bzw. eindeutige Beweise noch ausstehen. K. Spiro[3]) nennt neben anderen Metallen auch Zink und Aluminium als regelmäßige Bestandteile jedes tierischen Organismus. Nach seinen Angaben sind für Zink hohe Werte bei der Geburt zu finden, die dann während der Säuglingszeit absinken und bei der Zufuhr gemischter Nahrung wieder ansteigen. Von allen Organen sind Hoden und Prostata besonders zinkreich, auch das Sperma[4]). Bertrand[5]) glaubt es als Wachstumshormon bezeichnen zu müssen. Er erwähnt auch, daß Tumoren einen höheren Zinkgehalt als das umliegende normale Gewebe haben, und zwar umso zinkreicher sind, je maligner der Tumor ist. Nach F. Eichholtz[6]) wird Zink in meßbarer Menge und regelmäßig in allen Organen gefunden. Beim Menschen ist der Gesamtzinkgehalt ungefähr gleich dem des gesamten Gewebseisens.

In neuester Zeit wurde Kadmium mit Hilfe spektrographischer Analyse zum ersten Mal in tierischen Geweben gefunden, und zwar in der Leber von Pecten maximus (Munro, Fox und Ramage)[7]).

Nach Wiechowski[8]) ist an dem häufigen Vorkommen von Aluminium im Organismus kaum zu zweifeln.

---

[1]) Handb. d. norm. u. pathol. Physiol. Bd. 1, S. 503, Berlin-Springer 1924.
[2]) Heffter: Handb. d. exp. Pharmakol. Bd. 3, 3, S. 1909 ff., Berlin-Springer 1934.
[3]) K. Spiro: Ergebn. d. Physiol. Bd. 24, S. 474, München-Bergmann, 1925.
[4]) derselbe: ebenda S.. 484.
[5]) Bertrand: Compt. rend. hebdom. d. séances de l'accad. d. sciences zit. in Ergebn. d. Physiol. Bd. 24, S. 484.
[6]) Eichholtz: Heffters Handb. d. exp. Pharmakol. Bd. 3, 3, S. 1916.
[7]) Heffters Handbuch d. exp. Pharmakol. Bd. 3, 3, S. 1890.
[8]) Wiechowski: Ergebn. d. Physiol. Bd. 24, S. 486.

Über den Einfluß der Salze des Zink, Aluminium und Kadmium auf die Zuckergärung liegen Untersuchungsergebnisse vor von Kostytschew, Subkowa, Neuberg, Kerb und von May [9] [10]. Sie konnten nachweisen, daß u. a. durch Zusatz von Kadmium, Zink und Aluminium die Aldehydausbeute bei der Zuckergärung durch Dauerhefe gesteigert ist, wobei jedoch der Einfluß des Kadmium am deutlichsten war, gering dagegen nur bei Aluminiumsalzen. Worauf die erhöhte Ausbeute zurückzuführen ist, darüber gehen die Ansichten der verschiedenen Autoren noch sehr auseinander.

Näher untersucht ist auch die Beeinflussung der O_2-Zehrung isolierten Nierengewebes durch Aluminiumsalze. Die Untersuchungen wurden durchgeführt von Kisch und Leibowitz [11]. Es ergab sich dabei, daß Aluminiumchlorid die Gewebsatmung isolierter Säugetiernieren beeinflußt : Konzentrationen bis 1.10^{-5} hemmen, Konzentrationen von 1.10^{-7} — 1.10^{-9} fördern die Gewebsatmung. Ähnlich wie Aluminiumchlorid wirke Aluminiumsulfat.

Stangier [12] und Paffrath [13] untersuchten den Einfluß von Zink- und Aluminiumsalzen auf die Dehydrierungsvorgänge. Dabei ergab sich für Zinksalze eine Verzögerung des Milchsäure- und Glyzerinphosphorsäureabbaues in stärksten Verdünnungen (1.10^{-10}), während mittlere Verdünnungen den Glukoseabbau in Hirngewebe hemmen. Unbeeinflußt blieben Glykogen- und Glukoseabbau in Herz und Niere durch Zinksalz. Das Aluminiumsalz ist in den Versuchen mit Glukosezusatz zu Hirn-, Herz- und Nierengewebe wirkungslos. Bei frischen Geweben mit und ohne Zusatz liegt das Optimum der Beschleunigung bei der stärksten Verdünnung (10^{-10}), mit steigender Konzentration tritt zunehmende Hemmung ein. Im ausgewaschenen Gewebe wirken schon die schwächsten Konzentrationen (10^{-10}) hemmend. Nur bei Bernsteinsäurezusatz bewirken höhere Konzentrationen (10^{-7}, 10^{-6}) eine mäßige Beschleunigung der Entfärbung.

Den Einfluß von Zink und Aluminium auf die Eiweißverdauung untersuchte Hümme [14]. Er fand, daß die Sulfate des Zink und Aluminium mit ansteigender Konzentration die Eiweißverdauung durch Pepsin und Pankreatin verschlechtern. Eine Steigerung des Eiweißabbaues durch die Metallsalze findet nicht statt.

[9]) Biochem. Z. Bd. 141, S. 447 ff.
[10]) Heffters Handb. d. exp Pharmakol. Bd. 3, 3, S. 1892.
[11]) Kisch u. Leibowitz : Biochem. Z. 235, S. 45 ff.
[12]) Stangier : Inaugural-Dissertation, Münster 1933.
[13]) Paffrath : ebenda 1933.
[14]) Hümme : ebenda 1935.

Untersuchungen über die Kadmiumwirkung sind bisher sehr spärlich. Sein Einfluß auf den Stärkeabbau durch diastatische Fermente wurde am hiesigen Institut von Söbbecke[15]) untersucht. Der Stärkeabbau wird dabei durch höhere Kadmiumkonzentrationen verzögert, in stärkeren Verdünnungen nicht beeinflußt.

In Ergänzung der verschiedensten Untersuchungen mit den Salzen des Aluminium, Zink und Kadmium ist in der vorliegenden Arbeit der Einfluß dieser Stoffe auf die Sauerstoffzehrung überlebender Gewebe an Hand von Versuchen eingehender behandelt.

Auf Einzelheiten der Versuchsanordnung einzugehen, erübrigt sich, da diese bereits in früheren Arbeiten aus dem hiesigen Institut weitgehendst bekannt sind. Die Versuche wurden mit dem Warburg'schen Apparat bei einer Temperatur von 30° C und einer Schlagfrequenz von 120—130 Schlag/Minute ausgeführt. Über die zur Anwendung gekommenen Konzentrationen der Salzlösungen geben die Tabellen Aufschluß. Die Lösungen wurden hergestellt aus Stammlösungen von Kadmiumsulfat, Zinksulfat und Aluminium-Kaliumsulfat durch entsprechende Verdünnungen. Die Konzentration der Metallsalze bezieht sich auf das Kation und nicht auf das Salz. Die Suspensionsflüssigkeit (Phosphatpuffer) hatte einen P_H von 7,36, m/20.

Versuchsreihe 1.

Versuche am Skelettmuskel (Rind).

Die Ergebnisse der Versuche über die Sauerstoffzehrung am Skelettmuskel des Rindes sind in den Tabellen 1—3 festgelegt. In Tabelle 1 wurde der Sauerstoffverbrauch am Skelettmuskel ohne Zusatz von Nährstoffen untersucht, während bei den Versuchen der Tabelle 2 Glykogen (0,2%) zugesetzt war. Für die letzte Gruppe dieser Versuchsreihe wurde mit Wasser ausgewaschener Skelettmuskel verwandt; es wurde Bernsteinsäure zugesetzt, um die Verbrennung dieser Verbindung zu prüfen.

Bei Betrachtung der Versuchsergebnisse ergibt sich, daß durch den Zusatz sämtlicher Salze in der Verdünnung 1 : 1000 die Sauerstoffaufnahme gehemmt ist, wenn auch der Grad der Hemmung bei den einzelnen Salzen verschieden ist : sehr stark

[15]) Söbbecke : Inaugural-Dissertation, Münster 1936 in Vorbereitung.

hemmend wirkt Aluminium, weniger stark Zink und Kadmium. Es ist dies wohl auf die bei dieser Verdünnung noch auftretende eiweißfällende Wirkung der Salzlösungen zurückzuführen. Beim Aluminium beträgt die O_2 - Aufnahme bei 1.10^{-3} nur 11 % der Kontrolle, beim Zink 36 % und bei Kadmium 48 %.

Tabelle 1.

Skelettmuskel (Rind): ohne Zusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	444	485	454	100	100	100
1.10^{-8}	448	484	424	101	100	93
1.10^{-7}	440	493	440	99	102	97
1.10^{-6}	456	506	473	103	104	104
1.10^{-5}	492	323	485	111	67	107
1.10^{-4}	257	234	449	58	48	99
1.10^{-3}	214	173	50	48	36	11

Tabelle 2.

Skelettmuskel (Rind): Glykogenzusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	369	496	381	100	100	100
1.10^{-8}	360	497	380	98	100	100
1.10^{-7}	398	493	393	108	100	103
1.10^{-6}	393	528	439	107	106	115
1.10^{-5}	346	348	507	94	70	133
1.10^{-4}	210	294	405	57	60	106
1.10^{-3}	189	197	22	51	40	6

Tabelle 3.

Skelettmuskel (Rind) ausgewaschen: Bernsteinsäurezusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	624	657	643	100	100	100
1.10^{-8}	626	650	652	100	99	101
1.10^{-7}	632	620	644	101	94	100
1.10^{-6}	641	598	683	103	91	106
1.10^{-5}	598	523	690	96	80	107
1.10^{-4}	241	508	724	39	77	113
1.10^{-3}	142	378	49	23	58	8

Beim Muskel ohne Zusatz (Tabelle 1) läßt diese Hemmung mit steigender Verdünnung nach, und es tritt Förderung der Sauerstoffaufnahme auf, die für Kadmium und Aluminium ihr Maximum bei einer Konzentration von 1.10^{-5}, für Zink bei 1.10^{-6} erreicht. Sie bleibt für Zink und Kadmium in geringem Maße bis in schwächste Konzentrationen bestehen, während bei Aluminiumzusatz dann wieder eine geringe Hemmung eintritt. Zeigt das Aluminium bei der Konzentration 1.10^{-3} noch eine Hemmung um 89 %, so ist es bei der nächst höheren Verdünnung 1.10^{-4} schon ohne Einfluß auf die O_2 - Aufnahme. Bei der Konzentration 1.10^{-5}, wo Kadmium und Aluminium das Maximum ihrer Wirkung erreichen, wirkt Zink noch stark hemmend (33 %).

Auch auf den Glykogenabbau im Rindermuskel (Tabelle 2) wirken alle drei Salze bei einer Konzentration von 1.10^{-3} stark hemmend; und wiederum setzt das Aluminium die Sauerstoffzehrung auf ein Minimum (6 %) herab, während bei Zink und Kadmium die Hemmung ungefähr 50 — 60 % beträgt. Auch der weitere Verlauf des Versuches zeigt den Gegensatz der Wirkung des Aluminium einerseits und des Kadmium und Zink andererseits. Schon bei der nächst höheren Verdünnung (1 : 10000) fördert Aluminium die Sauerstoffzehrung, die bei 1.10^{-5} mit 33 % ihr Maximum erreicht. Kadmium und Zink dagegen steigern erst in einer Verdünnung von 1.10^{-6} den O_2 - Verbrauch, ohne aber

über einen Wert von 8 % hinauskommen. Auf den Abbau des Glykogens wirken Zink und Kadmium ziemlich gleich stark ein; besonders wirksam ist Aluminium. Während das Maximum der Wirksamkeit des Aluminium in diesen Versuchen bei der Verdünnung 1 : 100000 liegt (+ 33 %), zeigt Zink in dieser Konzentration noch eine Hemmung des O_2 - Verbrauches von 30 %, was durchaus den Ergebnissen aus den Versuchen ohne Glykogenzusatz (Tabelle 1) entspricht. Kadmium ist in dieser Konzentration ohne Wirkung.

Annähernd das gleiche Bild ergibt sich bei den Untersuchungen der Oxydation der Bernsteinsäure durch ausgewaschenen Muskel (Tabelle 3). Wieder sind die Oxydationsvorgänge bei der starken Konzentration von 1 : 1000 erheblich gehemmt, vor allem durch Aluminium. Bei der Konzentration 1.10^{-4} aber hat das Aluminium bereits eine Förderung der Sauerstoffzehrung bewirkt, wogegen Zink noch in der Verdünnung 1 : 100000 stark hemmend wirkt (20 %). Das Kadmium ist bei dieser Verdünnung wirkungslos (vgl. Tabelle 2).

Während Kadmium erst in den höheren Verdünnungen nur geringe und Zink auch in den höchsten gar keine Steigerung der Sauerstoffzehrung zeigen, hat der O_2 - Verbrauch im Versuch mit Aluminium schon bei der Konzentration 1.10^{-4} eine Steigerung erfahren (+ 13 %), die mit zunehmender Verdünnung allmählich geringer wird. Überhaupt keine Förderung wurde bei Zusatz von Zink beobachtet, das in allen Verdünnungen des Versuches hemmend wirkt.

Zusammengefaßt ist also die O_2 - Aufnahme des Skelettmuskels ohne Zusatz durch alle drei Salze in mittlerer Konzentration mäßig gefördert. Bei Zusatz von Glykogen zum frischen Muskel und bei dem von Bernsteinsäure zum ausgewaschenen Muskel ist das Aluminium besonders wirksam, das schon in schwachen Verdünnungen erhebliche Förderung der Sauerstoffzehrung bewirkt. Die geringste Steigerung der O_2 - Aufnahme in allen drei Versuchen zeigte das Zink. In den höheren Konzentrationen 1.10^{-3}—1.10^{-5} wirkt es sehr stark hemmend, in den schwachen ist es ohne Wirkung auf den O_2 - Verbrauch und lediglich in den Versuchen mit frischem Muskel kommt es in mittleren Verdünnungen (1.10^{-6}) zu geringer Förderung der Sauerstoffzehrung (6 %).

Versuchsreihe 2.

Versuche am Herzmuskel (Rind).

Die Tabellen 4 und 5 stellen die Ergebnisse der Versuche mit Herzmuskel dar. Die Untersuchungen wurden einmal ohne und einmal mit Glukosezusatz (0,2 %) ausgeführt.

Bei den Versuchen ohne Glukosezusatz (Tabelle 4) zeigte sich wieder eine gewisse Sonderstellung des Aluminium. Es ergibt für alle Konzentrationen außer der stärksten 1.10^{-3} eine geringe Steigerung des O_2-Verbrauches (8 % maximal), während die beiden anderen Stoffe, Zink und Kadmium, keine Förderung der Sauerstoffzehrung hervorrufen, sondern hauptsächlich die Oxydationsvorgänge hemmend beeinflussen. Besonders stark sind die Hemmungen der Sauerstoffzehrung wieder bei der Konzentration 1.10^{-3}. Bei den Versuchen mit und ohne Zusatz wird die O_2-Aufnahme wieder besonders durch Aluminium, und zwar bis zu 90 % der Kontrolle gehemmt. Sehr starke Herabsetzung der Oxydationsvorgänge sind auch unter dem Einfluß des Kadmium zu verzeichnen, die Werte bis 76 % des Kontrollversuches erreichen. Verhältnismäßig am wenigsten hemmend wirkt in dieser Konzentration das Zink. Doch ergibt sich schon in der Konzentration 1.10^{-5} wieder das gleiche Bild wie in den Versuchen am frischen Muskel: die beste Wirkung entfaltet das Aluminium, das in den Konzentrationen über 1.10^{-3} bereits nicht mehr hemmt, in mittleren Konzentrationen sogar geringe Förderung der O_2-Aufnahme bewirkt. Hemmungen bis 45 % sind unter dem Einfluß des Zink zu verzeichnen, das jedoch bei den Versuchen an Herz mit Glukosezusatz in den schwächeren Verdünnungen den O_2-Verbrauch steigert (10 %).

Bei Zusatz der Glukose (Tabelle 5) liegen für Kadmium und Aluminium ähnliche Ergebnisse vor wie in den Versuchen ohne Zusatz: unter Einfluß des Aluminium in allen Konzentrationen (ausgenommen 1.10^{-3}) leichte Förderung, bei Kadmium in den Verdünnungen 1.10^{-3} — 1.10^{-5} Hemmung der Sauerstoffzehrung. Abweichend verhält sich das Zink in diesem Versuch. Es ruft in steigenden Konzentrationen von 1.10^{-8} — 1.10^{-6} zunehmende Steigerung des O_2-Verbrauches hervor und hemmt dann plötzlich, bei der Konzentration 1.10^{-5} stark abfallend, um 45 %.

Im großen und ganzen ist der fördernde Einfluß der drei Metalle auf die Sauerstoffzehrung des Herzmuskels nicht sehr bedeutend. Lediglich kommt dem Aluminium und dem Zink bei Glukosezusatz eine solche zu, während die anderen Versuche dieser Reihe eine Hemmung der Oxydationsvorgänge ergaben.

Tabelle 4.

Herz (Rind): ohne Zusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	476	474	381	100	100	100
1.10^{-8}	472	470	388	99	99	102
1.10^{-7}	460	468	379	97	99	100
1.10^{-6}	468	478	391	98	101	103
1.10^{-5}	398	260	401	84	55	105
1.10^{-4}	154	199	411	32	42	108
1.10^{-3}	115	158	47	24	33	12

Tabelle 5

Herz (Rind): Glukosezusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	486	378	393	100	100	100
1.10^{-8}	483	388	390	99	103	99
1.10^{-7}	480	406	389	99	107	99
1.10^{-6}	460	417	391	95	110	100
1.10^{-5}	320	206	405	66	55	103
1.10^{-4}	212	167	420	44	44	106
1.10^{-3}	161	160	40	33	42	10

Versuchsreihe 3.

Versuche an Gehirn (Rind).

Über die Versuchsergebnisse an Rinderhirn unterrichten die Tabellen 6 und 7. Es fällt besonders auf, daß die sonst unter dem Einfluß des Aluminium in der stärksten Konzentration 1.10^{-3} eintretende sehr beträchtliche Hemmung der O_2-Aufnahme bei Hirngewebe mit und ohne Zusatz geringer ist als in den Versuchen mit Herz und Skelettmuskel. Die Wirkung des Aluminium auf Hirngewebe ist auch insofern abweichend von der, die sich in den bisherigen Versuchen ergab, als es überhaupt zu keiner Förderung der Sauerstoffzehrung kommt, vielmehr noch in der Verdünnung 1.10^{-7} eine Hemmung von 12 % unter dem Einfluß des Aluminium festzustellen ist. Jedoch zeigt nicht nur das Aluminium bei der Konzentration 1.10^{-3} eine relativ geringere Hemmung des Sauerstoffverbrauches, sondern auch die anderen Salze bewirken in dieser Konzentration geringere Herabsetzung der Oxydationsvorgänge gegenüber den Versuchen mit Skelett- und Herzmuskel. Bei Kadmium ist die Hemmung sogar nur 25 % der Kontrolle.

Wir sehen zunächst in den Versuchen ohne Glukosezusatz (Tabelle 6), daß in den höheren Verdünnungen keine wesentliche Beeinflussung der Gewebsatmung durch Zusatz der Salze erzielt wird. Nicht einmal unter dem Einfluß des Aluminium, das in anderen Versuchen auf die Gewebsatmung fördernd wirkt, kommt es zu einer Steigerung der O_2-Aufnahme. Die stärkeren Konzentrationen wirken hemmend, jedoch sind die Prozentsätze der Hemmung lange nicht so hoch wie in den bisherigen Versuchen.

Dasselbe Bild zeigt die Tabelle 7, der Versuche mit Glukosezusatz zugrundeliegen. Auch hier wirken Aluminium und Zink wenig, in den schwachen Verdünnungen hemmend. Lediglich das Kadmium gibt in geringeren Konzentrationen eine leichte Steigerung des O_2-Verbrauches. Auffallend ist das Verhalten bei Aluminiumzusatz. Während in den bisherigen Versuchen (vgl. Tabelle 1—5) immer eine leichte Förderung der Sauerstoffzehrung festzustellen war, bleibt diese hier vollständig aus, die Werte erreichen noch nicht einmal die des Kontrollversuches.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe können zusammengefaßt werden: alle drei Salze lassen in höheren Verdünnungen die Sauerstoffzehrung des Hirngewebes, gleichgültig ob ohne oder mit Zusatz von Glukose, nahezu unbeeinflußt, in schwächeren

wirken sie hemmend. Besonderheiten zeigt hier der Einfluß des Aluminium, das in Hirngewebe eine umgekehrte Wirkung wie in Herz- und Skelettmuskel entfaltet: noch in den Konzentrationen 1.10^{-5} bzw. 1.10^{-7} zeigt es eine Hemmung der Sauerstoffzehrung (12 %).

Tabelle 6.

Gehirn (Rind): ohne Zusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	442	425	393	100	100	100
1.10^{-8}	438	426	384	99	100	98
1.10^{-7}	456	433	372	103	102	95
1.10^{-6}	442	434	377	100	102	97
1.10^{-5}	397	389	326	90	92	83
1.10^{-4}	344	336	327	78	79	83
1.10^{-3}	236	253	138	53	60	35

Tabelle 7.

Gehirn (Rind): Glukosezusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	524	437	419	100	100	100
1.10^{-8}	543	430	397	104	98	95
1.10^{-7}	566	431	369	108	99	88
1.10^{-6}	524	436	338	100	100	81
1.10^{-5}	484	429	334	92	98	80
1.10^{-4}	438	377	348	84	86	83
1.10^{-3}	393	289	197	75	66	47

Versuchsreihe 4.

Versuche an Leber (Rind).

Die Versuche an Rinderleber wurden ohne Zusatz ausgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengestellt und zeigen Unterschiede in der Wirksamkeit sowohl der einzelnen Konzentrationen als auch der verschiedenen Zusätze.

In der schwachen Verdünnung 1 : 1000 wirkt Aluminium wieder stark hemmend (80 % Herabsetzung der O_2-Aufnahme). Die anderen Salze, Zink und Kadmium ergeben in diesen Konzentrationen weit geringere Werte für die Hemmung, Kadmium nur 13 %. Eine Sonderstellung des Kadmium ergibt sich auch aus dem weiteren Verlauf des Versuches, die bei Herz- und Skelettmuskel und Hirngewebe nicht zu finden war. Am schwächsten wirkt in den höheren Verdünnungen der Zusatz von Aluminium (vgl. auch Tabelle 6 und 7) auf die Förderung der Oxydationsvorgänge. Bei der Konzentration 1.10^{-5}, bei der Zink keine Hemmung mehr zeigt und Kadmium bereits die maximale Förderung der O_2-Aufnahme bewirkt, sind unter Einwirkung des Aluminium noch 23 % Hemmung zu verzeichnen. Erst in der Konzentration 1.10^{-6} wird die Sauerstoffzehrung durch Aluminium gefördert, jedoch übersteigt der Wert nicht 6 % der Kontrolle. Doppelt so hoch ist in dieser Verdünnung die Förderung, die durch das Zink hervorgerufen wird. Die stärkste Wirkung ist bei Kadmiumzusatz zu verzeichnen: bei der Konzentration 1.10^{-5} zeigt es eine Förderung der O_2-Aufnahme von 82 %, die in der nächst höheren Verdünnung (1 : 1 Million) noch 21 % beträgt; in den höchsten Verdünnungen ist keine Beeinflussung mehr festzustellen. Geringe Hemmung ergibt sich für die Konzentrationen 1.10^{-4} und 1.10^{-3}.

Eine wesentliche Steigerung zeigt sich noch unter dem Einfluß des Zink, wo das Maximum 12 % ist und bei der Konzentration $1{,}10^{-6}$ liegt. Von diesem Höhepunkt nimmt der O_2-Verbrauch nach den höheren und niederen Konzentrationen hin ab und ist bei der Verdünnung 1 : 1000 beträchtlich verringert (um 43 %).

Noch unbedeutender ist die Förderung der Oxydationsvorgänge bei Aluminiumzusatz. Nur in den schwächsten Konzentrationen ist eine geringe Steigerung um 6 % festzustellen. In den Konzentrationen 1.10^{-5} — 1.10^{-3} ist die Sauerstoffzehrung gehemmt, besonders stark bei der Verdünnung 1 : 1000 (80 %).

Tabelle 8.

Leber (Rind): ohne Zusatz.

Konzentrationen	cmm O_2			O_2 : % der Kontrolle		
	Kd	Zn	Al	Kd	Zn	Al
Kontrollversuch	141	308	266	100	100	100
1.10^{-8}	142	298	278	101	97	105
1.10^{-7}	138	319	270	98	104	102
1.10^{-6}	170	346	281	121	112	106
1.10^{-5}	257	312	205	182	101	77
1.10^{-4}	125	263	193	89	85	73
1.10^{-3}	122	174	51	87	57	19

Zusammenfassung.

Kadmium-, Zink- und Aluminiumsalze beeinflussen die Sauerstoffzehrung überlebender Gewebe sehr stark. Die Konzentration 1.10^{-3} hemmt in allen Organen die Sauerstoffaufnahme beträchtlich. Besonders starke Hemmung ruft bei dieser Verdünnung der Zusatz von Aluminium hervor, die bei Skelettmuskel und Herzmuskel fast vollkommen ist. In stärkeren Verdünnungen jedoch tritt eine Förderung der O_2-Aufnahme ein, die für die einzelnen Gewebe und Stoffe ihr Maximum bei verschiedenen Konzentrationen hat. Kadmium, welches die O_2-Aufnahme in Lebergewebe besonders fördert, hat das Maximum seiner Wirkung bei der Konzentration 1.10^{-5} — 1.10^{-6}. Das Optimum des Aluminiumeinflusses liegt meist schon bei den schwächeren Verdünnungen, 1.10^{-4} und 1.10^{-5}, während Zink in den drei Versuchen, wo es eine bedeutendere Steigerung der Oxydationsvorgänge bewirkt (Tabelle 2, 5, 8), sein Wirkungsmaximum bei 10^{-6} hat. Die höchsten Verdünnungen sind bei allen Versuchen nahezu wirkungslos auf die Sauerstoffzehrung.

Die Wirkung der drei Salze ist auch keineswegs einheitlich, sondern zeigt erhebliche Abweichungen, je nachdem welches Organ zur Untersuchung kam. So fördert z. B. Kadmium besonders stark die O_2-Aufnahme von Lebergewebe (82 %), hemmt dagegen die von Herzmuskel. Aluminium wirkt fördernd auf die O_2-Zehrung des Skelettmuskels nach Glykogenzusatz, während Zink eine stark fördernde Wirkung bei den Versuchen mit Herzmuskel entfaltet. Zink wirkt in allen anderen Versuchen am stärksten hemmend, selbst bei Konzentrationen von 1.10^{-5}, und der Prozentsatz seiner fördernden Wirkung ist nicht höher als 12 % der Kontrolle. Am einheitlichsten ist die Wirkung aller drei Salze auf das Hirngewebe mit und ohne Zusatz, da sie in den höheren Verdünnungen die O_2-Aufnahme nahezu unbeeinflußt lassen und in stärkeren Konzentrationen hemmend wirken. Dabei ist jedoch das umgekehrte Verhalten des Aluminium gegenüber den Ergebnissen der anderen Versuchsreihen besonders bemerkenswert.

Lebenslauf.

Am 4. November 1912 wurde ich zu Zwickau i. S. geboren. 5 Jahre besuchte ich die Volksschule und 9 Jahre das Bismarck-Realgymnasium zu Dortmund, das ich mit dem Zeugnis der Reife verließ. Seit November 1932 studierte ich an der Wilhelms-Universität in Münster Zahnheilkunde, bestand dort im Februar 1934 das Physikum und im Mai 1936 das Staatsexamen.

Harry Mennig.